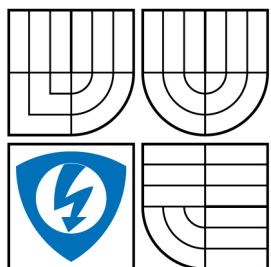




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Brno university of technology



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NÁVRH A TVORBA LABORATORNÍ ÚLOHY S PALIVOVÝM ČLÁNKEM

DESIGN AND CONSTRUCTION LABORATORY EXERCISE WITH FUEL CELL

BAKALÁRSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL MÁTL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN MACHÁČEK, Ph.D.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Michal Mátl

Bytem: Václavská 23, 664 61 Holasice

Narozen/a (datum a místo): 12. 3. 1985 v Brně

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,

se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

Doc. Ing. Čestmír Ondrušek, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako semestrální projekt

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:	Výkonová bilance samostatného modelu palivového článku
Vedoucí/ školitel VŠKP:	Ing. Jan Macháček, Ph.D.
Ústav:	Ústav elektroenergetiky
Datum obhajoby VŠKP:	

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v * :

x tištěné formě	–	počet exemplářů	2
x elektronické formě	–	počet exemplářů	1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy

(z důvodu utajení v něm obsažených informací)

4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

* hodící se zaškrtněte

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

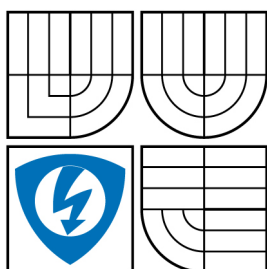
V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor



Vysoké učení technické
Fakulta elektrotechniky a
komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Michal Mátl
Ročník: 3

ID: 83436
Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a tvorba laboratorní úlohy s palivovým článkem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Studium palivového článku, obecný popis, vlastnosti, použití a charakteristiky palivových článků.
2. Zmapování současného stavu v oblasti vodíkových technologií.
3. Možnosti využití palivových článků v laboratorní výuce.
4. Návrh, matematický popis a realizace laboratorní úlohy s palivovým článkem.
5. Vypracování vzorového protokolu.
6. Závěr.

DOPORUCENÁ LITERATURA:

Podle pokynu vedoucího.

Termín zadání: 9. 2. 2009

Termín odevzdání: 31. 5. 2010

Vedoucí práce: Ing. Jan Macháček, Ph.D.

doc. Ing. Čestmír Ondrušek, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNENÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Bibliografická citace práce:

MÁTL, M. *Návrh a tvorba laboratorní úlohy s palivovým článkem.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Macháček, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou **bakalářskou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Macháčkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....

ABSTRAKT

Cílem mojí práce je studium palivového článku, zmapování současného světového a českého trhu a sestavení laboratorní úlohy. V práci je probrána základní problematika palivového článku, současný stav a nakonec je zhotovena laboratorní úloha.

Klíčová slova: Palivový článek; měření na palivovém článku; účinnost palivového článku

Abstract

The aim of my work is to study a fuel cell and to map out the situation in the contemporary world and Czech market and it also includes a laboratory exercise. Basic problems of the fuel cell and its contemporary state are discussed in my thesis. It is concluded with a laboratory exercise.

Key words: Fuel cell; metering on fuel cell; operation of fuel cell

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	13
SEZNAM TABULEK.....	14
1. ÚVOD.....	15
2. SOUČASNÝ STAV.....	16
2.1. ZÁKLADNÍ PRINCIP.....	16
2.2. ROZDĚLENÍ.....	16
2.2.1. ELEKTRODY.....	16
2.2.2. PALIVO.....	17
2.2.3. VÝROBA VODÍKU.....	17
2.2.4. ELEKTROLYZÉR.....	18
2.2.5. USKLADNĚNÍ A TRANSPORT.....	18
2.2.3. VODÍKOVÁ INFRASTRUKTURA.....	18
2.3. ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ.....	21
2.4. SKLÁDÁNÍ PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ.....	21
2.5. VÝHODY A NEVÝHODY	21
2.5.1. VÝHODY.....	21
2.5.2. NEVÝHODY.....	22
2.6. STAV NA ČESKÉM A SVĚTOVÉM TRHU.....	22
2.6.1. ČESKÝ TRH.....	22
2.6.2. EVROPSKÝ TRH.....	22
2.6.3. MIMOEVROPSKÝ TRH.....	23
2.7. APLIKACE A VYUŽITÍ.....	24
2.7.1. VYUŽITÍ VODÍKU V ČR.....	25
2.7.2. VYUŽITÍ VODÍKU VE SVĚTĚ.....	25
3. CÍLE PRÁCE.....	26
4. METODIKA NÁVRHU.....	27
4.1. VÝBĚR KOMPONENTŮ.....	27
4.2. EKONOMICKÁ STRÁNKA.....	27
4.3. MOŽNOSTI MĚŘENÍ.....	28
4.3.1. MĚŘENÍ NA ELEKTROLYZÉRU.....	28
4.3.2. MĚŘENÍ NA PALIVOVÉM ČLÁNKU.....	29

4.4. DŮVODY MĚŘENÍ.....	30
4.5. DALŠÍ INFORMACE K ÚLOZE.....	31
5. NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY.....	32
5.1. PRVNÍ ÚLOHA – MĚŘENÍ ÚČINNOSTI.....	32
5.1.1. SESTAVENÍ LABORATORNÍ ÚLOHY.....	32
5.1.2. NÁVRH VZOROVÉHO PROTOKOLU.....	34
5.2. DRUHÁ ÚLOHA – MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK S JEDNOTLIVÝCH	
ČLÁNKŮ PALIVOVÉHO SYSTÉMU.....	37
5.2.1. SESTAVENÍ LABORATORNÍ ÚLOHY.....	37
5.2.2. NÁVRH VZOROVÉHO PROTOKOLU.....	38
6. ZÁVĚR.....	42
POUŽITÁ LITERATURA.....	43

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Princip činnosti palivového článku.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2: Vodíkové čerpací stanice na světě.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 3: Vodíkové čerpací stanice v Evropě</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4: Vodíkové čerpací stanice v USA</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 5: Vodíkové čerpací stanice v Japonsku.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 6: Nabíječka Toshyba Dynario</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 7: Voltampérová charakteristika elektrolyzéru.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 8: Typická polarizační křivka palivového článku typu PEM.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 9: Výkonnostní křivka palivového článku.....</i>	<i>30</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1: Paliva pro palivové články.....</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 2: Způsoby výroby vodíku.....</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 3: Srovnání elektrolyzérů.....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 4: Druhy palivových článků a jejich vlastnosti.....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 5: Palivové články společnosti H-Tec.....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 6: Demonstrační sety společnosti H-Tec.....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 7: Parametry palivových článků společnosti Heliocentris.....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 8: Parametry palivových článků společnosti FuelCellStore.....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 9: Parametry palivových článků společnosti FuelCellEnergy.....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 10: Součástky systému do společnosti H-Tec.....</i>	<i>27</i>

1. ÚVOD

Palivový článek je elektrochemické zařízení, které přímo mění chemickou energii, uvolněnou při oxidaci paliva, v energii elektrickou.

Palivový článek je zvláštním typem galvanického článku. Podobně jako každý galvanický článek, skládá se ze dvou elektrod (anody a katody) oddělených elektrolytem.

K oxidaci paliva dochází ve dvou prostorově oddělených elektrochemických dějích. První probíhá u anody, druhý u katody. Elektrony vzniklé elektrochemickou reakcí u anody procházejí do katody vnějším zatěžovacím obvodem. Při tom se účastní elektrochemické reakce u katody, při které se tvoří záporné ionty. Elektrický proud uvnitř elektrolytu mezi elektrodami je tedy vyvolán tokem iontů, zatímco ve vnějším obvodu jsou nositelem proudu elektrony.

Nejjednodušší typ palivového článku, napájený vodíkem a kyslíkem, pracuje přesně opačně než zařízení, které vyrábí vodík a kyslík při elektrochemické reakci elektrolýzy vody. Dodáváme-li vodík do anody a kyslík do katody, vznikne mezi oběma elektrodami rozdíl elektrických potenciálů. Po připojení zátěže k elektrodám lze využít zařízení jako zdroj elektrické energie, jehož zápornou elektrodou je anoda a kladnou katoda.

Palivový článek není tepelný zdroj, takže nepodléhá Carnotovu omezení. Jeho účinnost může být značně větší než účinnost tepelného zdroje.

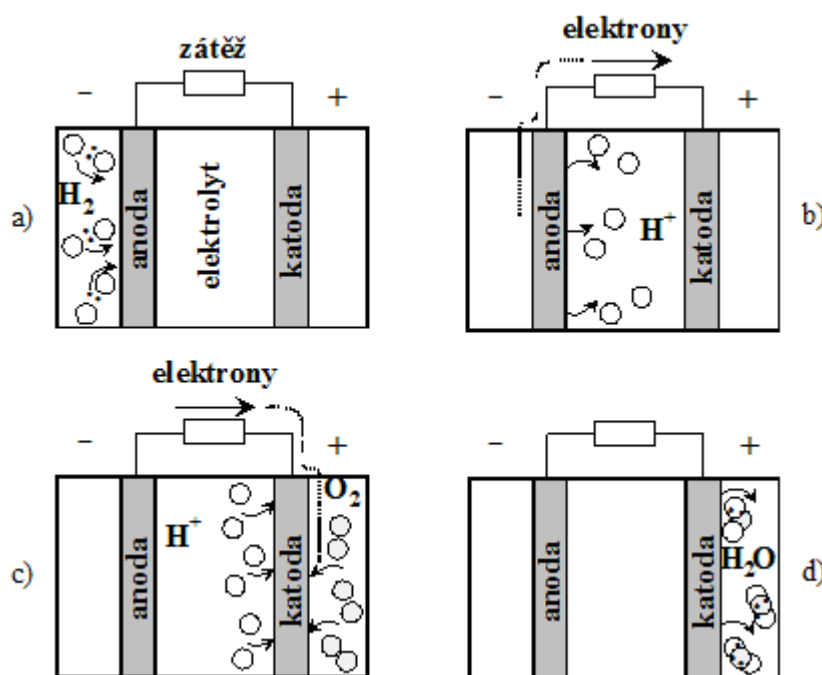
První pokusy s konstrukcí galvanických článků s nepřetržitým dodáváním aktivních látek se konaly v první polovině 19. století. Profesor londýnské univerzity W. Grove v roce 1839, když prováděl elektrolýzu roztoku kyseliny sírové při použití platinových elektrod ponořených z poloviny do elektrolytu, zjistil, že mezi platinovými dráty, jejichž vynořené konce byly v atmosféře vystupujících plynů, prochází po přerušení elektrolýzy proud opačným směrem. Na základě tohoto objevu zkonstruoval první článek, vodíko-kyslíkový. Později byl tento článek zdokonalen, ale s ohledem na drahé platinové elektrody se nedočkal většího rozšíření.

Zvrat ve vývoji palivových článků znamenala ukázka vodíko-kyslíkového palivového článku s výkonem 6 kW, zkonstruovaného v roce 1959 F. T. Baconem na univerzitě v Cambridge. O několik měsíců později předvedl H. K. Ihring z firmy Alois-Chalmers (USA) činnost traktoru o výkonu 20 kW napájeného elektrickým proudem z palivového článku. Taková předvádění se stala počátkem rychlého růstu zájmu o výzkum a rozvoj palivového článku.

2. Současný stav

2.1 Základní princip

Princip činnosti palivového článku je poměrně jednoduchý. Na zápornou elektrodu, které říkáme palivová (jedná se o anodu), se přivádí aktivní látka (palivo). Ta zde oxiduje (její atomy se zbavují – často za přispění katalyzátoru – jednoho nebo několika elektronů z valenční sféry) a uvolněné elektrony představují elektrický proud se vnějším obvodem pohybující ke kladné elektrodě (katodě). Na kladné elektrodě, kam se přivádí okysličovadlo, naopak probíhá redukce (atomy okysličovadla volně elektrony přijímají) za současné reakce s kladnými ionty, které k ní pronikají elektrolytem. Pokud se vnější obvod se zátěží přeruší, probíhající reakce se z důvodu deficitu elektronu okamžitě zastaví. Možný průběh reakcí v palivovém článku pro případ, že palivem je vodík a okysličovadlem kyslík, je znázorněn na Obr. 1. Výsledkem spalování je v závislosti na pracovní teplotě článku voda či vodní pára. [2]



Obr. 1: Princip činnosti palivového článku

2.2. Rozdělení

2.2.1. Elektrody

- Palivový článek obsahuje 2 elektrody
- Záporná (anoda) – na ni je přiváděno palivo
- Kladná (katoda) – sem je přiváděno okysličovadlo

- Elektrody jsou většinou zhotoveny z různých kovů, nebo může jít o uhlíkové nanotrubičky
- Pro zvýšení účinnosti mohou být potaženy katalyzátorem (např. platinou nebo palladiem)
- Dnes se standardně používají elektrody s množstvím katalyzátoru 5g/m^2

2.2.2. Palivo

- Nejčastěji se používá vodík v plynném nebo kapalném stavu
- Dále mohou být použity nepřímé, vodík obsahující paliva. Z nich se vodík získává tzv. reformovacím procesem.
- Nejvýznamnější paliva pro palivové články jsou vypsána v Tab. 1.

Palivo	Reakce s kyslíkem	ΔG ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	U_{em} (V)	Materiál anody	Materiál Katody	Elektrolyt
vodík	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	-240	1,23	Pt	Pt	H_2SO_4
metan	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	-823	1,06	Pt	Pt	H_2SO_4
propan	$\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	-2113	1,085	Pt	Pt	H_2SO_4
methanol	$2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	-701	1,21	Pt	C	KOH
oxid uhelnatý	$2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$	-256	1,33	Cu	Ag	KOH
čpavek	$4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 6\text{H}_2\text{O} + 2\text{N}_2$	-340	1,17	Pt	Pt	KOH
hydrazin	$\text{N}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	-605	1,56	Ni	C	KOH
zinek	$2\text{Zn} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{ZnO}$	-319	1,65	Zn	C	NaOH
sodík	$4\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{NaOH}$	-302	3,12	Na(Hg)	Ag/C	KOH
uhlík	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$	-395	1,02	C	CuO/CuO_2	Na_2CO_3

Tab. 1: Paliva pro palivové články [1]

2.2.3. Výroba Vodíku

- Způsoby výroby vodíku jsou uvedeny v Tab. 2.

Způsob výroby	Surovina pro výrobu	Poznámka
Elektrolýza	Voda	Finančně nákladné z důvodu potřeby elektrické energie
Parní reforming	Lehčí uhlovodíky, nejčastěji zemní plyn	vysoká efektivita a nízké náklady
Parciální oxidace ropných frakcí	Těžší uhlovodíkové frakce	
Redukce vody uhlíkem	Uhlí a koks	Proces je označován Zplyňování uhlí
Zahříváním vody na teplotu 2800°C	Voda	V běžných podmínkách nemožné, pouze při využití plazmy nebo jaderné reakce

Tab. 2.: Způsoby výroby vodíku [15]

2.2.4. Elektrolyzér

- Zařízení pro výrobu vodíku díky elektrolýze vody
- Na elektrolýzu je zapotřebí stejnosměrný proud, proto se u elektrolyzérů často nachází solární panel
- Srovnání elektrolyzérů společnosti H-Tec je uvedeno v Tab. 3.

Označení	Produkce vodíku	Výkon	Hmotnost
	[cm ³ /min]	[W]	[Kg]
Elektrolyzer 230	230	50	1,5
Elektrolyzer 65	65	15	0,46
Elektrolyzer 10	10	2,33	0,315
Elektrolyzer 5	5	1,16	0,305

Tab. 3.: Srovnání elektrolyzérů [12]

2.2.5. Uskladnění a transport paliva

- Vodík lze skladovat buď jako stlačený, zkapalněný nebo ve vazbě na různé chemické sloučeniny.
- U dalších druhů paliva, které jsou nejčastěji plynného stavu (zemní plyn, propan, oxid uhelnatý, atd.) se používají tlakové láhve
- Kapalné palivo je uskládáno v lahvích
- Transport paliva se řeší podle typu. Nejnáročnější je transport vodíku. Provádí se ve formě stlačeného a zkapalněného vodíku, zásobníků s kovovými hybridy, chemického skladování
- Transport zemního plynu je pomocí distribučních sítí

2.2.6. Vodíková infrastruktura

- Vodíková infrastruktura zajišťuje možnost využívání palivových článků v automobilech formou čerpacích stanic
- Vodíkové čerpací stanice provozuje např. společnost Shell. V Evropě se nachází třeba v Rotterdamu, na Islandu nebo v Lucembursku. Mimo Evropu je to např. Washington a New York v USA, v Japonsku ve městě Tokio nebo v Číně v Shanghaii.
- Na Obr. 2: je vidět, že nejhustější pokrytí je v Evropě, USA a východní Asii
- V České republice je plánovaná čerpací stanice v Neratovicích

Na následujících obrázcích jsou vyznačeny vodíkové čerpací stanice. Zelenou vlaječkou jsou znázorněny stanice již v provozu, žlutá vlaječka znázorňuje plánované čerpací stanice a šedá neuskutečněné čerpací stanice. [5]



Obr. 2: Vodíkové čerpací stanice na světě



Obr. 3: Vodíkové čerpací stanice v Evropě



Obr. 4: Vodíkové čerpací stanice v USA



Obr. 5: Vodíkové čerpací stanice v Japonsku

2.3. Základní rozdělení palivových článků

- Palivové články se rozdělují podle pracovní teploty a dále podle použitého elektrolytu.
- V následující tabulce jsou vypsány druhy článků a jejich vlastnosti a použití

Druhy	Nízkoteplotní			Středoteplotní	Vysokoteplotní	
	Alkalické	Membránové	Přímé metanolové		S pevnými karbonáty	S pevnými oxidy
Elektrolyt	Hydroxid draselný	Tuhý organický polymer	Tuhý organický polymer	Kyselina fosforečná	Směs roztavených uhličitů	Oxidy vybraných kovů
	Hydroxid draselný	Iontoměničná membrána	Iontoměničná membrána	Kyselina fosforečná	Tavené karbonáty lithia, vodíku, draslíku	Oxid zirkoničitý s příměsí yttria
Pracovní teplota	60 - 100	20 - 80	20 - 130	170 - 250	600 - 650	800 - 1000
Účinnost elektrická (%)	45 - 60	40 - 60	40	38 - 45	45 - 60	50 - 65
Výkon	Do 20 kW	Do 250 kW	Do 10 kW	50 - stovky kW	Do několika MW	Do několika MW
použité palivo	Vodík	Vodík, Reformovaná paliva	Methanol (Ethanol)	Vodík, Reformovaná paliva	Vodík, Nepřímá paliva	všechny druhy bez reformování
možné aplikace	Kosmické lodě, lodě, ponorky	Univerzální	Přenosné články	Výroba energie	Výroba energie	Výroba energie

Tab. 4: Druhy palivových článků a jejich vlastnosti [8]

2.4. Skládání palivových článků

- Využívá se z důvodu zvýšení jmenovitého napětí a výkonu
- Elementární články se spojují do série
- Spojovat lze články do větších celků o desítkách, stovkách až tisících článků
- V principu neexistuje žádné omezení počtu článků, proto lze konstruovat celky v širokém rozmezí výkonů od wattů až po megawatty
- Účinnost malých celků je takřka srovnatelná s velkými

2.5. Výhody a nevýhody palivových článků

2.5.1. Výhody

- Vysoká účinnost energetické transformace v důsledku přímé přeměny chemické energie paliva na elektrickou energii

- Modulární koncepce – možnost konstruovat palivové články v širokém rozmezí výkonů při takřka stejné účinnosti.
- Velmi nízké emise škodlivin (o jeden až dva řády nižší než u ostatních technologií spalování fosilních paliv).
- Dlouhé periody mezi občasnými poruchami
- Možnost použití množství různých plyných paliv (po úpravě).
- Takřka nehučný provoz v důsledku absence pohyblivých částí (s výjimkou doprovodných zařízení – dmyhadla, kompresory,...).

2.5.2. Nevýhody

- Citlivost k některým příměsím v palivu, případně v okysličovadle
- Vysoké investiční náklady
- Dosud příliš nízká životnost
- Účinnost klesá s dobou provozu

2.6. Stav na českém a světovém trhu

2.6.1. Český trh

- Na českém trhu jsou dvě společnosti, které se zabývají výrobou palivových článků.
- První společnost, která se výrobou zabývá je Astris, spol. s r.o. Od této společnosti se mi nepodařilo získat žádné údaje o výrobcích
- Další společnost na českém trhu je Pierron Praha. Tato společnost je dceřinou společností francouzské společnosti Pierron a nabízí školní modely palivových článků

Společnost Pierron nabízí pro školní pokusy několik možností:

- Metanolový palivový článek – výkon palivového článku je 20 mW, k článku dostaneme 3 lahvičky paliva. Cena je 3036,- Kč
- Autíčko na vodík – sada obsahuje podvozek s motorem, převody a spojovací vodiče, reverzibilní palivový článek s nádržkami na vodík a kyslík. Cena této sady je 186 Euro (asi 5000,- Kč)
- Sada palivový článek – základní model s doplňky – sada obsahuje palivový článek s výkonem 0,5 W, elektrolyzátor, solární panel s výkonem 0,5 W, měřič proudu a napětí, potřebné vodiče. Cena této sady je 8382,- Kč

2.6.2. Evropský trh

Na Evropském trhu se nachází několik výrobců palivových článků. Jeden z nich je společnost H-Tec, která se zabývá hlavně laboratorními systémy. Palivové články jsou uvedeny v Tab. 5. a demonstrační modely v Tab. 6.

	Označení	Výkon článěk		Hmotnost	Cena
		[W]		[g]	Euro
		H ₂ /O ₂	H ₂ /Air		
Palivové články	H ₂ /O ₂ Item F101	0,5	-	54	38
	H ₂ /O ₂ Air Item F103	0,5	0,15	52	42
	H ₂ /O ₂ Air Item F104	1	0,3	60	62

Tab. 5: Palivové články společnosti H-Tec [12]

	Označení	Výkon článku		Výkon elektrolyzérů	Cena	Obsahuje
		[W]		[W]	Euro	
		H ₂ /O ₂	H ₂ /Air			
Demonstrační systémy	JuniorBasic	0,5	-	1	179	Solární modul, elektrolyzátor, palivový článek, zásobníky
	RFC set	0,3	0,1	1,16	169	Solární modul, elektrolyzátor, palivový článek, zásobníky, zátěž (větrák), akumulátor
	Student set	0,3	0,1	1,16	389	Solární modul, elektrolyzátor, palivový článek, zásobníky, zátěž (větrák), akumulátor, podvozek autíčka

Tab. 6: Demonstrací sety společnosti H-Tec [12]

Další společnost, která působí na německém trhu, je Heliocentris. Tato společnost vyrábí palivové články ve vyšších výkonech. Jejich produkty jsou v Tab. 7.

Označení	Výkon	Napětí	Proud
	[W]	[V]	[A]
Constructor	50	5	8
Nexa	1200	26	46
HyPM	4k	58-79	80
	8k	48-79	18
	12k	36-57	350
	16k	48-76	350

Tab. 7: Parametry palivových článků společnosti Heliocentris [9]

Ceny těchto palivových článků nebyly na stránkách Heliocentris uvedeny.

2.6.3. Mimoevropský trh

Mezi mimoevropské společnosti, které se zabývají palivovými články, patří FuelCellStore, která působí v USA. Jejich výrobky jsou uvedeny v následující tabulce.

Označení	Výkon	Napětí	Proud	Cena
	[W]	[V]	[A]	USD
H-12	12	6,6	1,8	347
H-30	30	7,2	4,2	762
H-100	100	12	8,5	1029
H-300	300	36	8,5	2450

Tab. 8: Parametry palivových článků společnosti FuelCellStore [11]

Další společnost, zabývající se touto problematikou je FuelCell Energy. Tato společnost se zabývá výrobou palivových článků, které mají výkon kilowatty až megawatty. Tyto články se využívají pro provoz budov, výrobních zařízení, čističek odpadních vod atd.

Označení	Výkon	Napětí	Volitelné napětí	Účinnost
	[kW]	[V]	[V]	[%]
DFC1500	300	480	450, 440, 420, 400, 380	47±2
DFC300	1400	480	450, 440, 420, 400, 380	47±2
DFC3000	2800	13800	12700, 4160	47±2

Tab. 9: Parametry palivových článků společnosti FuelCell Energy [10]

2.7. Aplikace a využití článků

Využití palivových článků lze rozdělit do čtyř základních skupin:

1. Přenosné palivové články

Jedná se o zdroje elektrické energie pro elektrické přístroje, jaké jsou např. notebooky, digitální fotoaparáty, zdroje pro přenosné vysílačky atd. Jmenovitý výkon je v řádu desítek wattů a většinou se jedná o nízkoteplotní články – membránové nebo přímé etanolové palivové články.

2. Mobilní palivové články

Zdroje elektrické energie pro nejrůznější dopravní prostředky. Jmenovitý výkon se u těchto palivových článků pohybuje v řádech desítek kilowattů na bázi iontoměničných membrán, které jako palivo využívají především plynný či zkapalněný vodík. Ostatní aplikace pokrývají široké spektrum využití a výkonů. Např. jízdní kola, malé nákladní automobily a vozítka, autobusy, pohon lodí atd.

3. Stacionární palivové články

Používají se jako zdroje elektrické a tepelné energie s širokým rozsahem instalovaných výkonů. Především se používají jako zdroje energie a tepla pro byty, rodinné domy, administrativní budovy, hotely nebo jako záložní zdroje. Pro toto použití se hodí všechny typy článků, s výjimkou alkalických a přímých metanolových. Většinou se jako palivo používá zemní plyn, který se na vstupu do palivového článku reformuje na vodík.

4. Speciální palivové články

Zařízení určené především jako zdroje pro kosmický výzkum, kde se využívají jedině alkalické palivové články. Výhodou je stabilita a jejich vysoká provozní spolehlivost. Příkladem je vesmírný projekt SKYLAB, americké vesmírné agentury NASA, kdy se využívalo alkalických palivových článků bez závad po dobu delších než patnácti let. [6]

2.7.1. Využití vodíku v ČR

První vodíková stanice v České republice byla otevřena 5. 11. 2009 v areálu firmy Veolia Transport v Neratovicích. Tato stanice vznikla na základě projektu vodíkového autobusu TriHybusu (Triple Hybrid Hydrogen Bus), který jezdí na městské lince v Neratovicích. Stanice byla vybudována společností Linde Gas.

Vodíkový autobus TriHybus využívá trojitý hybridní pohon: vodíkových palivových článků, baterií a výkonných kondenzátorů zvaných ultrakapacitory. Výkon elektrického trakčního motoru je 120 kW, řídicí systém a komponenty byly instalovány do karosérie vozidla Irisbus Citelis 12M. Maximální rychlost je elektricky omezena na 65 km/h. Na zhruba 20 kg tekutého vodíku, který se poveze na střeše v tlakových lahvích, dojede autobus téměř 300 km. [18]

2.7.2. Využití vodíku ve světě

V listopadu roku 2009 oznámila společnost Toshiba zahájení sériové výroby nabíječky, která získává energii spalováním metanolu v palivovém článku. Do začátku firma vyrobila 3 000 ks a podle poptávky se Toshiba rozhodne, zda bude výroba dále pokračovat. Nabíječka Dynario, jak se nazývá, se prodává v japonském e-shop a stojí 5 600,- Kč (podle přímého přepočtu). K ní zákazník musí přikoupit lahvičku s metanolem, která se prodává v balení po 5 ks a stojí 600,- Kč. Obsah každé lahvičky vydrží na sedmero nabití průměrné baterie mobilního telefonu. Jedno takové nabití pak vyjde na 17,- Kč. Nabíječka má rozměry 150 x 21 x 74,5 mm a její hmotnost je 280 g. Nad chemickou reakcí palivového článku dohlíží integrovaný mikropočítač a o zahlazení výkyvu napětí se postará Li-ion baterie, která je zapojena na výstupu z nabíječky. Nabíječka je zobrazena na obr. 6. [17]



Obr. 6: Nabíječka Toshiba Dynario

3. Cíle práce

Cílem mojí bakalářské práce je zhodnocení současného stavu palivových článků a návrh laboratorní úlohy. Budu postupovat podle těchto bodů:

1. Získání informací o palivových článcích, základní princip, palivo, druhy a rozdělení palivových článků, možnosti použití.
2. Metodika návrhu úlohy s palivovým článkem, výběr komponentů, zjištění možností měření a výpočty.
3. Návrh první úlohy – Měření účinnosti. V téhle části se chci zabývat měřením účinnosti jak elektrolyzéru, tak palivového článku a celého systému.
4. Návrh druhé úlohy – Měření charakteristik a jednotlivých článků palivového systému. V této úloze se budu zabývat měřením charakteristik elektrolyzéru a palivového článku, dále se bude proměřovat jednotlivé články palivového systému a porovnávat je.

4. Metodika návrhu

4.1. Výběr komponentů

Na moji úlohu jsem si vybral součástky od společnosti H-Tec. Podle mého názoru, je nejvýhodnější zakoupit celý set, který tato společnost nabízí. Myslím si, že nejvhodnějším setem bude Stack Experimentation Set Complete, který nabízí mnoho možností měření. Součástí tohoto systému jsou uvedené v tabulce.

	Název zařízení	Specifikace	Poznámky
Palivový článek	Fuel Cell Stack 10	Výkon jednoho článku: 10 mW Výkon systému: 2 W	
Elektrolyzér	Elektrolyzer 65	Produkce vodíku: 63 cm ³ /min Výkon: 15W	
Zdroj ss napětí	Power Suply 15	Input: 100 - 230 V, 50 - 60 Hz Output: 6 VDC/ 3A	Napájení ze sítě
Zdroj ss napětí	Solar Module 13	Output: 4 V / 3,3 A	Solární napájení
Program pro PC	Fuel Cell Monitor Pro 3.0		
Nádobka na vodík	Storage 80	Objem: 80 cm ³	
Spotřebič	Experimentation Set Lamp	Výkon: 4,4 W	Lampa
Spotřebič	Fan Tutorial	Výkon: 10 mW	Větráček
Magnetický držák	Holder Set		
Nádoba na vodu			
Ochranné brýle			
Silikonové hadičky			
Učebnice			

Tab. 10: Součástky systému od společnosti H-Tec

Dále jsou potřeba tyto přístroje:

Voltmetr – multimetr s přesností $\pm 0,1\%$

Ampérmetr – multimetr s přesností $\pm 0,1\%$

Potenciometr – max odpor 50 Ω

Stopky

4.2. Ekonomická stránka

Cena celého setu podle ceníku pro rok 2010 vychází na 2 340 Euro. Pokud bych všechny komponenty kupoval samostatně, cena součástek by vyšla na 1 903 Euro, ale součástí by nebyl kufr na součástky, dále lampa, používaná jako spotřebič, ochranné pomůcky, nádoba na vodu a

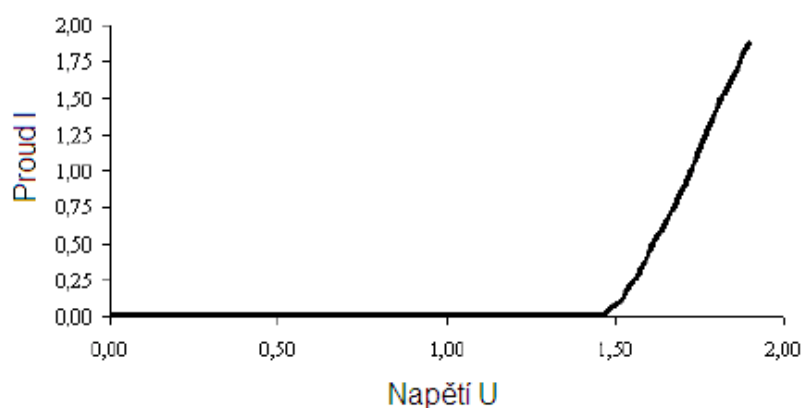
magnetický držák. Tyto součástky jsem totiž v ceníku společnosti samostatně nenašel. Cena setu přepočítaná na naši měnu, při kurzu 25,- Kč za Euro, je 58 500,- Kč.

4.3. Možnosti měření

Mezi nejzákladnější měření lze zařadit volt-ampérovou charakteristiku, různé závislosti výkonu na napětí, proudu nebo čase. Toto měření může dále probíhat i na elektrolyzáru. Další zajímavé měření může být měření jednotlivých palivových článků nebo měření solárního modulu. Na základě těchto měření můžeme dále určit účinnost elektrolyzáru a palivového článku a následně pak celého systému.

4.3.1. Měření na elektrolyzáru

Nejdříve se budu zabývat měření na první části přístroje, a to je výroba vodíku, na elektrolyzáru. Pro elektrolýzu vody je zapotřebí zdroj stejnosměrného proudu, v našem případě se bude jednat o solární panel nebo o stálý zdroj napětí. Voltampérová charakteristika elektrolyzáru lze měřit tak, že na zdroji nastavujeme napětí a měříme proud protékající elektrolyzérem. V našem případě bude toto měření probíhat na počítači. Software, dodávaný společností, nám pak charakteristiku vykreslí.



Obr. 7: Voltampérová charakteristika elektrolyzáru

Účinnost elektrolyzáru se nám podaří určit pomocí Faradayových zákonů elektrolýzy. Pomocí druhého si určíme elektrochemický ekvivalent.

$$A = \frac{M_m}{F \cdot z},$$

kde M_m je molární hmotnost, F je Faradayova konstanta $F = 9,6481 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ a z je počet elektronů, které jsou potřeba při vyloučení jedné molekuly. Pro vodík tato konstanta vychází $A = 1,0447 \cdot 10^{-5}$.

Pomocí prvního zákona pak zjistíme hmotnost vyloučené látky na elektrodě

$$m = A \cdot I \cdot t,$$

kde I je elektrický proud a t čas.

Díky této hodnotě můžeme vypočítat výstupní energie elektrolyzáru

$$E_{2el} = m \cdot c^2,$$

kde c je rychlost světla ve vakuu.

Vstupní energie lze určit ze vstupních hodnot napětí U , proudu I a času t .

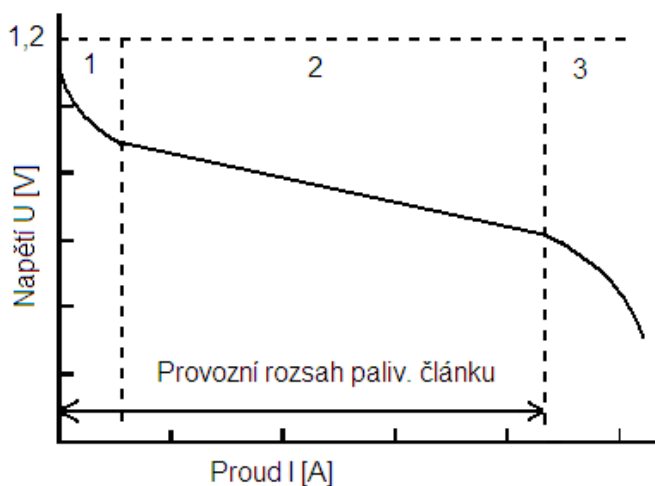
$$E_{1el} = U \cdot I \cdot t$$

Účinnost elektrolyzátoru se dá poté spočítat podle vzorce

$$\eta_{el} = \frac{E_{2el}}{E_{1el}} \cdot 100$$

4.3.2. Měření na palivovém článku

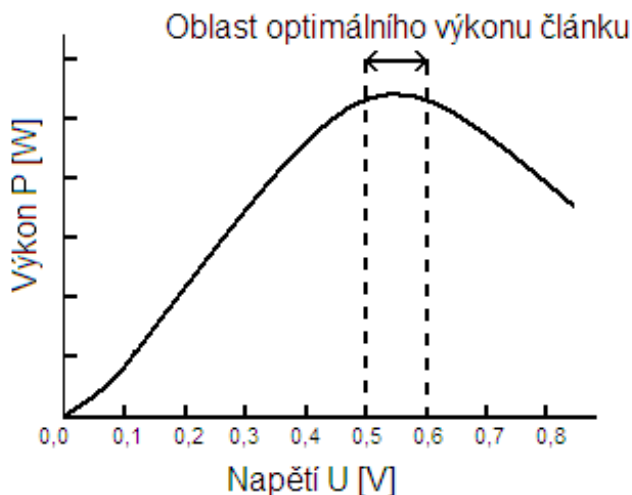
Druhou částí měření může být na palivový článek. Zde lze opět změřit volt-ampérová (polarizační) charakteristika. Je to závislost napětí článku na proudu.



Obr. 8: Typická polarizační křivka palivového článku typu PEM

- 1- aktivační polarizace
- 2- ohmická polarizace
- 3- koncentrační polarizace

Další možnost měření je výkonnostní charakteristika. Ta je nejzajímavější z důvodu ukázky, při jakém napětí má palivový článek největší výkon. Je to tedy závislost výkonu na napětí.



Obr. 9: Výkonnostní křivka palivového článku

Na výkonnostní charakteristiku navazují další možnosti měření a to závislost výkonu na proudu a čase.

Protože pro moji úlohu jsem vybral palivový systém, který je sestaven z 10 palivových článků, lze díky programu, který je s celým setem dodáván, změřit napětí na jednotlivých článcích a porovnat tak jejich výkonnost. Každý článek jde na PC připojit samostatně, a tak můžeme jednoduše zjistit napětí každého z nich.

Nejdůležitějším měření na palivovém článku je jeho účinnost. Tato hodnota lze, jako u elektrolyzáru, určit výpočtem a to podílem výstupní a vstupní energie. Vstupní energii máme určenou, je to energie, která vystupuje z elektrolyzáru. Určení výstupní energie je u palivového článku jednodušší. Na vnější obvod připojíme zátěž a měříme napětí na článku, proud protékající zátěží a čas, za jak dlouho palivový článek spotřebuje vodík. Z těchto tří veličin vypočteme energii.

$$E_{2pc} = U \cdot I \cdot t$$

Účinnost lze pak určit podle vzorce.

$$\eta_{pc} = \frac{E_{2pc}}{E_{2el}} \cdot 100$$

Celková účinnost zařízení se spočítá vynásobením účinností elektrolyzáru a palivového článku.

$$\eta = \eta_{el} \cdot \eta_{pc}$$

4.4. Důvody měření

Měření, nejen na palivovém článku, se provádí z mnoha důvodů. Nejčastější je zjištění parametru přístroje pro porovnání s jiným. I u palivového článku tomu není jinak. Nejčastěji se provádí měření účinnosti a to proto, abychom zjistily, zda je palivový článek konkurence schopný či ne. V dnešní době, kdy zdroje energie jako jsou např. spalovací motory, elektrárny atd. se účinnost pohybuje v rozmezí od cca 25% do 40%. U palivových článků je to podstatně více, účinnost se pohybuje podle druhu článku kolem 50% až 60%. Z tohoto důvodu by mohl do

budoucná být velmi zajímavou alternativou pro automobilový průmysl. V dnešní době tomu zatím tak není a to hlavně z důvodu vysokých pořizovacích nákladů.

Dalším důvodem by mohlo být seznámení studentů s problematikou palivových článků, názornou ukázkou a praktickým měřením.

Z těchto důvodů navrhuji, aby vznikla laboratorní úloha.

4.5. Další informace k úloze

Na změření úlohy je stanoven čas 2 vyučovacích hodin a to je 100 minut. Pro měření je potřeba minimálně 3 studentů, kdy první student se stará o elektrolyzátor a výrobu vodíku, druhý má na starost obsluhu palivového článku a třetí obsluhuje počítač a zapisuje veškeré hodnoty. Zapsané hodnoty a grafy uložené z PC si každý student odnese na zpracování domů, kde samostatně vytvoří kompletní protokol, který odevzdá na další laboratorní výuce nebo ve stanoveném termínu vyučujícího.

5. Návrh laboratorních úloh

5.1. První úloha – Měření účinnosti

V první úloze jsem se rozhodl změřit účinnost jednotlivých částí systému. První část měření bude probíhat na elektrolyzáru, kdy je potřeba zjistit vstupní a výstupní energii. Druhou částí bude měření na palivovém článku. Veškerá teorie o měření a výpočty vycházejí z metodiky návrhu.

5.1.1. Sestavení laboratorní úlohy

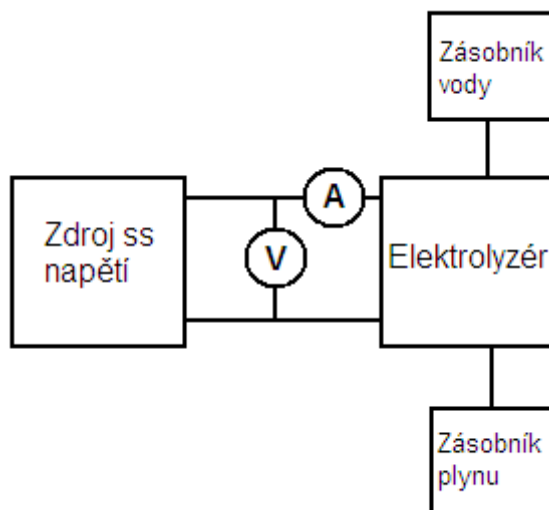
Název: Měření účinnosti systému s palivovým článkem

Zadání:

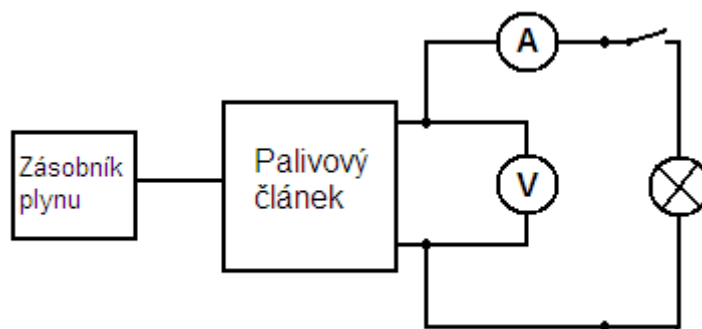
1. Změřte a určete účinnost elektrolyzáru.
2. Změřte a určete účinnosti palivového článku.
3. Vypočtete účinnost celého systému.

Schéma:

a, Schéma zapojení elektrolyzáru



b, Schéma zapojení palivového článku



Postup měření:

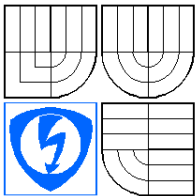
1. Zapojte obvod podle schématu a,
2. Zapněte zdroj napětí a naplňte nádobku na vodík. Změřte napětí na zdroji, proud protékající obvodem a čas, za který se nádržka naplní.
3. Nádobku po měření vyprázdněte pomocí palivového článku a měření opakujte 5x.
4. Spočítejte účinnost každého měření a udělejte aritmetický průměr.
5. Na nádržku s vodíkem připojte palivový článek podle schématu b,
6. Po připojení spotřebiče změřte proud jím procházející, napětí a čas, za jaký bude vodík vypotřebován.
7. Celé měření na palivovém článku opakujte 5x.
8. Spočítejte účinnost palivového článku pro každé měření a udělejte aritmetický průměr.
9. Z vypočítaných hodnot stanovte účinnost celého systému.

Závěr:

Do závěru vyhodnoťte výsledky měření, zda výsledky odpovídají teoretickým předpokladům, popřípadě odůvodnění vzniklých nepřesností.

5.1.2. Návrh vzorového protokolu

Na následujících stránkách je ukázka vzorového protokolu, jak by mohl vypadat.

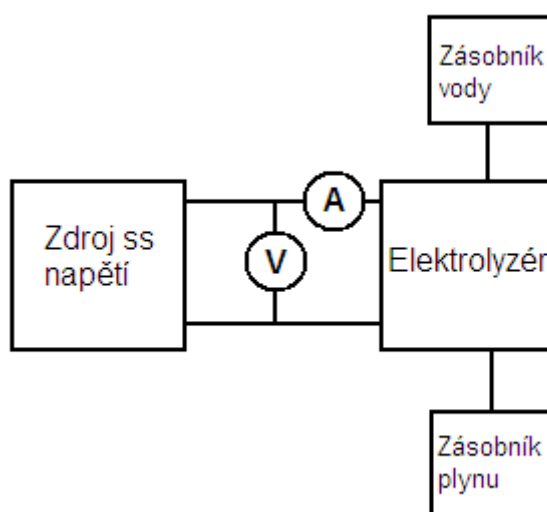
 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ		Předmět	
		Jméno	
		Ročník	Studijní skupina
		Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval		Hodnocení	Dne
Číslo úlohy	Název úlohy MĚŘENÍ ÚČINNOSTI		

Zadání:

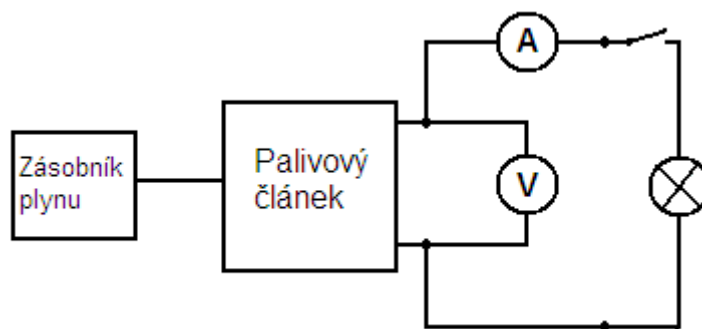
1. Změřte a určete účinnost elektrolyzáru.
2. Změřte a určete účinnosti palivového článku.
3. Vypočtete účinnost celého systému.

Schéma:

a, Schéma zapojení elektrolyzáru



b, Schéma zapojení palivového článku

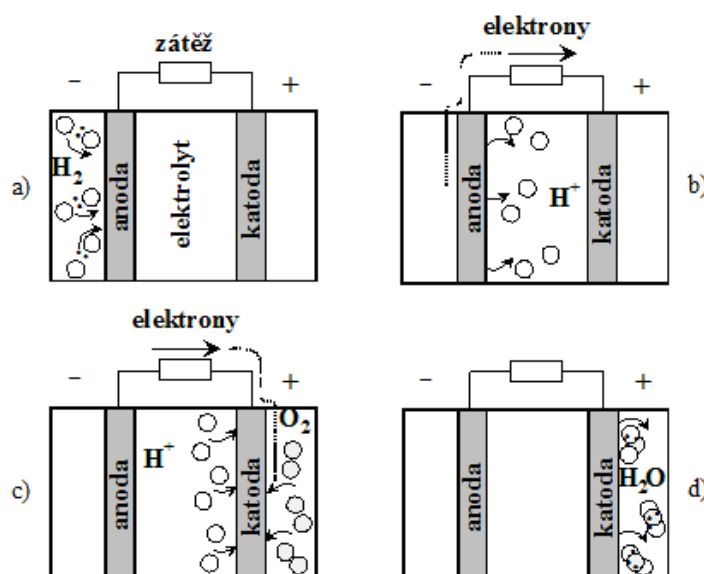


Teoretický rozbor:

Palivový článek je elektrochemické zařízení, které přímo mění chemickou energii, uvolněnou při oxidaci paliva, na elektrickou.

Princip činnosti:

Na zápornou elektrodu (palivová) přivedeme aktivní látku (palivo). Ta zde oxiduje (její atomy se zbavují – často za přispění katalyzátoru – jednoho nebo více elektronu z valenční sféry). Uvolněné elektrony představují elektrický proud, který se pohybuje přes zátěž ke kladné elektrodě. Na kladné elektrodě, kde se přivádí okysličovadlo, naopak probíhá redukce (atomy okysličovadla přijímají elektrony) za současné reakce s kladnými ionty, které k ní pronikají elektrolytem. Průběh reakcí je znázorněn na obrázku, pro případ, kdy palivem je vodík a okysličovadlem kyslík. Výsledkem spalování je v závislosti na teplotě voda nebo vodní pára.



Obrázek 1: Princip činnosti palivového článku

Výpočet účinnosti:

Elektrolyzér:

Pomocí prvního Faradayového zákona zjistíme hmotnost vyloučené látky na elektrodě.

$$m = A \cdot I \cdot t,$$

kde A je elektrochemický ekvivalent (pro vodík $A = 1,0447 \cdot 10^{-5}$) I je elektrický proud a t čas.

Díky této hodnotě můžeme vypočítat výstupní energie elektrolyzáru.

$$E_{2el} = m \cdot c^2,$$

kde c je rychlost světla ve vakuu.

Vstupní energie lze určit ze vstupních hodnot napětí U , proudu I a času t .

$$E_{1el} = U \cdot I \cdot t$$

Účinnost elektrolyzáru se dá poté spočítat podle vzorce

$$\eta_{el} = \frac{E_{2el}}{E_{1el}} \cdot 100$$

Palivový článek:

Vstupní energie je výstupní energie elektrolyzáru.

Výstupní energie se určí ze vzorce

$$E_{2pč} = U \cdot I \cdot t$$

Účinnost lze pak určit podle vzorce

$$\eta_{pč} = \frac{E_{2pč}}{E_{2el}} \cdot 100$$

Účinnost celého systému

$$\eta = \eta_{el} \cdot \eta_{pč}$$

Postup měření:

1. Zapojte obvod podle schématu a,
2. Zapněte zdroj napětí a naplňte nádobku na vodík. Změřte napětí na zdroji, proud protékající obvodem a čas, za který se nádržka naplní.
3. Nádobku po měření vyprázdněte pomocí palivového článku a měření opakujte 5x.
4. Spočítejte účinnost každého měření a udělejte aritmetický průměr.
5. Na nádržku s vodíkem připojte palivový článek podle schématu b,
6. Po připojení spotřebiče změřte proud jím procházející, napětí a čas, za jaký bude vodík vypotřebován.
7. Celé měření na palivovém článku opakujte 5x.
8. Spočítejte účinnost palivového článku pro každé měření a udělejte aritmetický průměr.
9. Z vypočítaných hodnot stanovte účinnost celého systému.

Zpracování:

Do zpracování protokolu se zahrnou veškeré tabulky s naměřenými a vypočtenými hodnotami, dále vzorové příklady výpočtů.

5.2. Druhá úloha – Měření charakteristik a jednotlivých článků palivového systému

Druhá úloha se bude zabývat měřením charakteristik jak elektrolyzéru, tak i palivového článku. Celá úloha bude měřena pomocí PC a programu, který nám všechny hodnoty zaznamená a vynese do grafu. Další částí úlohy bude změření napětí na všech palivových článcích a porovnání.

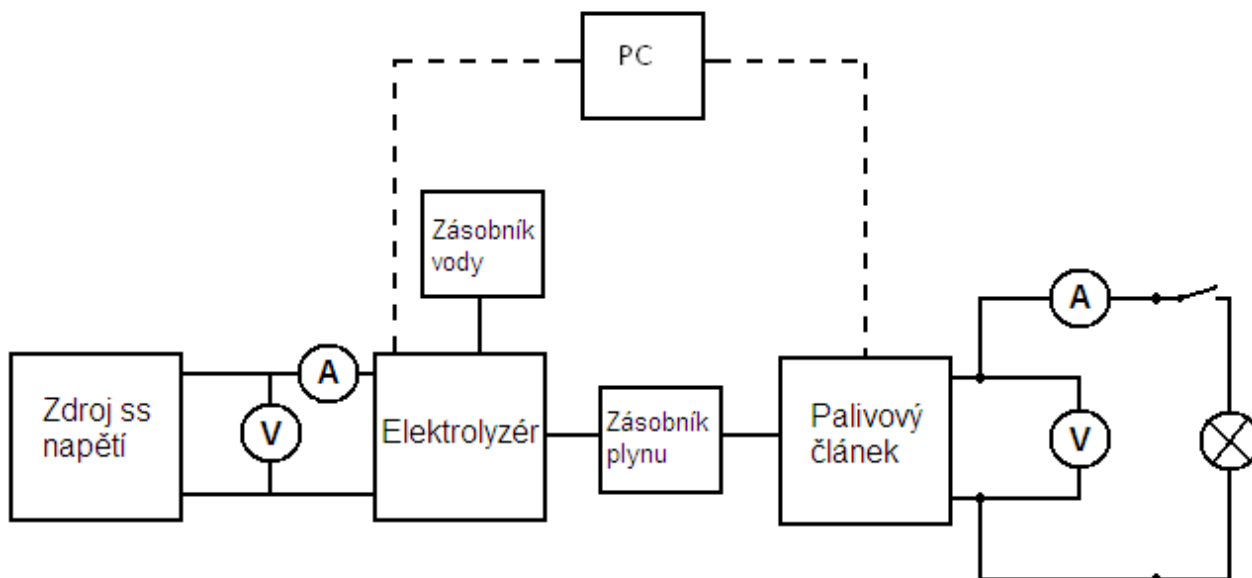
5.2.1. Sestavení laboratorní úlohy

Název: Měření charakteristik a jednotlivých článků palivového systému

Zadání:

1. Změřte volt-ampérovou charakteristiku elektrolyzéru.
2. Změřte volt-ampérovou charakteristiku a dále závislosti výkonu na napětí, proudu a čase.
3. Proměřte jednotlivé články palivového systému.
4. Z naměřených hodnot vypočítejte výkony jednotlivých článků.

Schéma:



Postup měření:

1. Zapojte obvod dle schématu.
2. PC připojte k elektrolyzéru a změřte volt-ampérovou charakteristiku.
3. PC připojte k palivovému systému a změřte volt-ampérovou charakteristiku a závislost výkonu na napětí, proudu a čase.

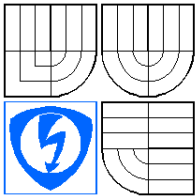
4. Připojte monitor k prvnímu palivovému článku systému a změřte napětí na článku a proud jím protékající.
5. Postupně přepojujte na další palivové články.
6. Vypočítejte výkony jednotlivých článků.

Závěr:

Do závěru vyhodnoťte jednotlivá měření a porovnejte s teoretickými znalostmi. Dále srovnajte jednotlivé články systému.

5.2.2. Návrh vzorového protokolu

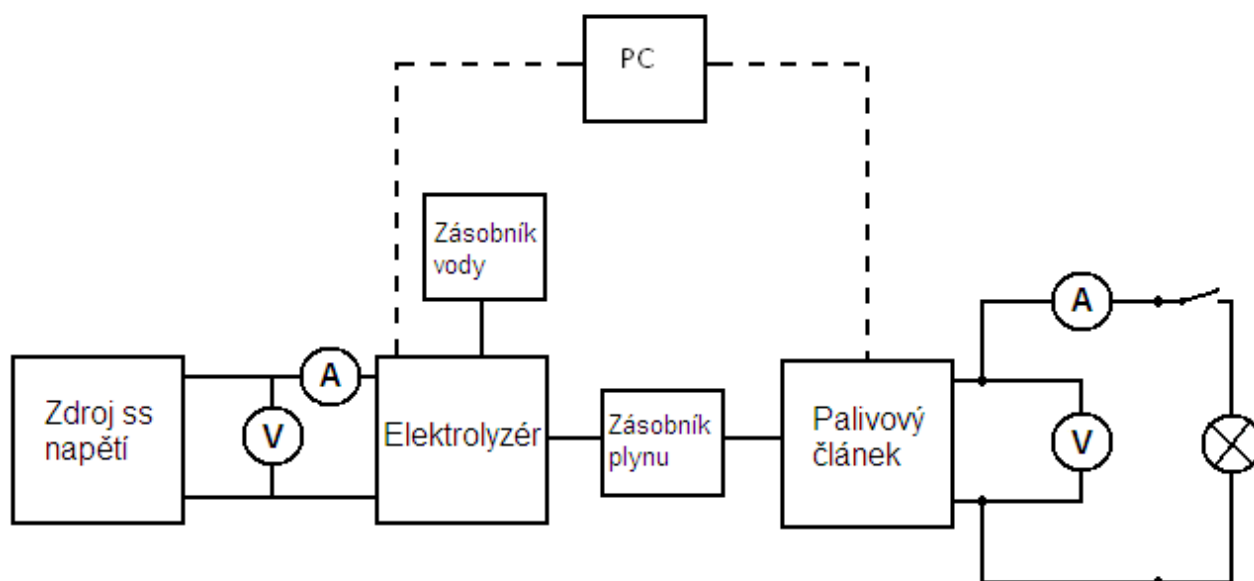
Na následujících stránkách jsem opět vytvořil protokol tak, jak by měl vypadat.

		Předmět	
		Jméno	
		Ročník	Studijní skupina
		Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval		Hodnocení	Dne
Číslo úlohy	Název úlohy MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK A JEDNOTLIVÝCH ČLÁNKŮ PALIVOVÉHO SYSTÉMU		

Zadání:

1. Změřte volt-ampérovou charakteristiku elektrolyzéru.
2. Změřte volt-ampérovou charakteristiku a dále závislosti výkonu na napětí, proudu a čase.
3. Proměřte jednotlivé články palivového systému.
4. Z naměřených hodnot vypočítejte výkony jednotlivých článků.

Schéma:

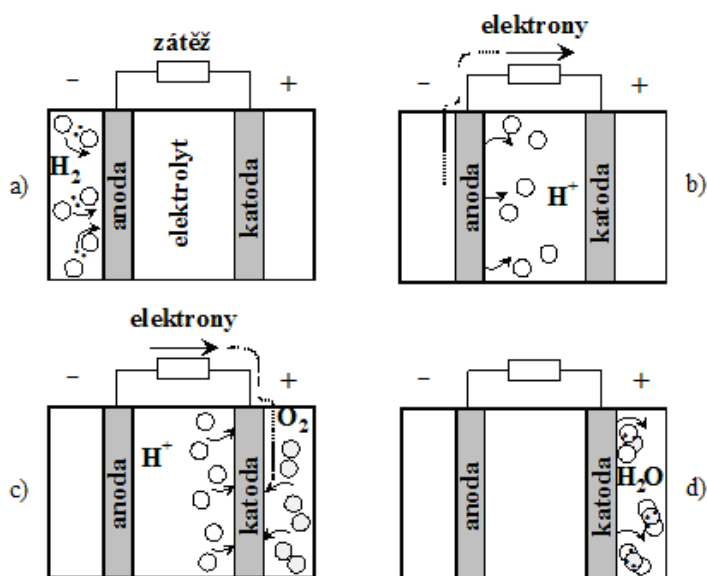


Teoretický rozbor:

Palivový článek je elektrochemické zařízení, které přímo mění chemickou energii, uvolněnou při oxidaci paliva, na elektrickou.

Princip činnosti:

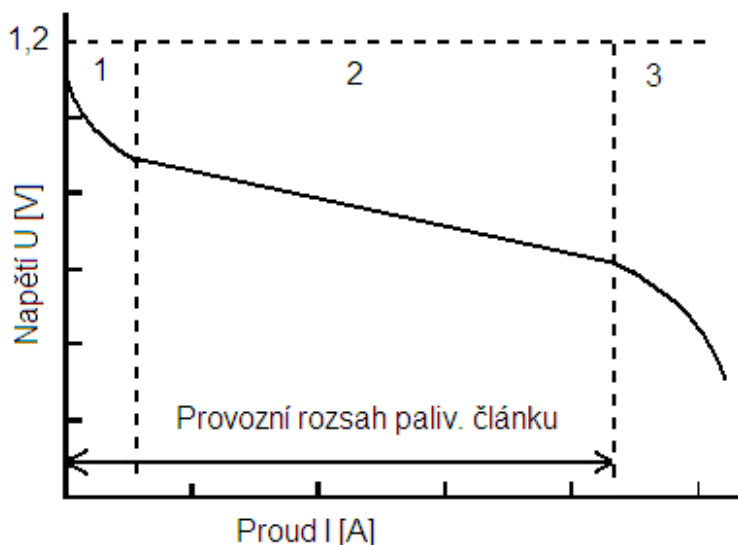
Na zápornou elektrodu (palivová) přivedeme aktivní látku (palivo). Ta zde oxiduje (její atomy se zbavují – často za přispění katalyzátoru – jednoho nebo více elektronů z valenční sféry). Uvolněné elektrony představují elektrický proud, který se pohybuje přes zátěž ke kladné elektrodě. Na kladné elektrodě, kde se přivádí okysličovadlo, naopak probíhá redukce (atomy okysličovadla přijímají elektrony) za současné reakce s kladnými ionty, které k ní pronikají elektrolytem. Průběh reakcí je znázorněn na obrázku, pro případ, kdy palivem je vodík a okysličovadlem kyslík. Výsledkem spalování je v závislosti na teplotě voda nebo vodní pára.



Obrázek 1: Princip činnosti palivového článku

V-A (polarizační) charakteristika:

Polarizační křivka znázorňuje závislost napětí článku na proudu.

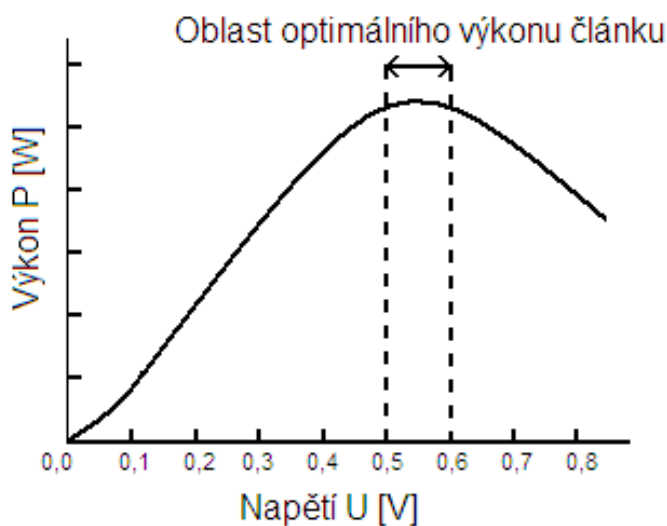


Obrázek 2: Typická polarizační křivka palivového článku typu PEM

- 1- aktivační polarizace
- 2- ohmická polarizace
- 3- koncentrační polarizace

Výkonová charakteristika:

Elektrický výkon je výsledkem existence napětí a proudu v obvodu ($P = U \cdot I$)



Obrázek 3: Výkonová křivka palivového článku

Maximální výkon je u skutečného palivového článku dosažen při napětí mezi 0,5 a 0,6 V. Největší hodnotu křivka dosáhne v okamžiku, kdy vnitřní rezistence článku je rovna elektrické rezistenci vnějšího obvodu. Protože účinnost článku klesá s narůstajícím napětím, musí dojít ke kompromisu mezi výkonem a vysokou účinností.

Zpracování:

Ve zpracování budou vyneseny všechny změřené charakteristiky a tabulka s porovnáním jednotlivých článků palivového systému.

6. Závěr

Cílem mojí bakalářské práce bylo seznámení se s palivovým článkem, jaké možnosti v této oblasti poskytují výrobci na světě, v EU a v ČR, dále návrh a vypracování laboratorní úlohy s palivovým článkem a vypracování vzorového protokolu.

První částí jsem se zabýval seznamováním se s problematikou palivových článků, činností, rozdělením, dále možnostmi jak na světovém tak na českém trhu, využití palivových článků a samozřejmě výhody a nevýhody.

Dalším cílem této práce byla metodika návrhu laboratorní úlohy, kde jsem určil přístroje, pro zpracování úlohy. Vybral jsem přístroje společnosti H-Tec, protože tato společnost se zabývá prodejem laboratorních komponentů a příslušenství. Dále jsem se zabýval možnostmi měření, které jdou na elektrolyzáru a palivovém článku. Na základě těchto informací, jsem se rozhodl pro zpracování dvou laboratorních úloh.

První, s názvem Měření účinnosti, se bude zabývat, jak je vidět v názvu, účinností elektrolyzáru a palivového systému. Nejdříve jsem se zabýval měřením na elektrolyzáru, kde jsem pomocí 2. Faradayova zákona spočítal hmotnost vyloučené látky, díky níž jsem určil výstupní energii. Vstupní energii jsem určil pomocí vstupních veličin U , I , t . Poté jsem přešel na palivový článek, kde po připojení zátěže a následném změření veličin U , I , t jsem spočítal výstupní energii palivového článku. Účinnost každé části jsem pak vypočítal podílem výstupní ku vstupní energii. Celkovou účinnost systému jsem zjistil součinem jednotlivých účinností.

V druhé úloze, s názvem Měření charakteristik a jednotlivých článků systému, jsem pomocí počítače a programu od společnosti H-Tec změřil jednotlivé charakteristiky. Posledním měření je na jednotlivých člancích palivového systému, kde jsem navrhl měření napětí a proudu na jednotlivých částech a následně výpočet výkonu.

Na závěr bych chtěl připomenout, že návrh je pouze teoretický, během zhotovení a vyzkoušení úlohy se mohou některé přístroje a parametry měření upravovat dle použitých prvků úlohy.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] CELINSKI, Zdzislaw. Nové zdroje elektrické energie. [s.l.] : [s.n.], 1985. 142 s.
- [2] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. [s.l.] : [s.n.], 2004. 198 s.
- [3] [Vodíkový autobus s palivovým článkem \[online\]. c2008 \[cit. 2009-03-23\]. Dostupný z WWW: <http://www.h2bus.cz/vyroba-vodiku>.](http://www.h2bus.cz/vyroba-vodiku)
- [4] Nový český vodíkový autobus se představí veřejnosti [online]. c2001-2009 [cit. 2009-03-24]. Dostupný z WWW: <http://www.tretipol.cz/index.asp?clanek&show&768>.
- [5] Hydrogen Filling Stations Worldwide - Overview [online]. 2007-01-01 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <http://www.netinform.net/h2/H2Stations/Default.aspx>.
- [6] BENEŠ, Štěpán Ctibor. Biom.cz [online]. c2008 [cit. 2009-03-24]. Dostupný z WWW: <http://biom.cz/cz-spalovani-biomasy/odborne-clanky/energeticke-vyuziti-palivovych-clanku>.
- [7] KOTEK, Luboš. Výroba vodíku - přehled metod [online]. c2005 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <http://vodik.czweb.org/view.php?cisloclanku=2005120501>.
- [8] Typy palivových článků [online]. [2004] [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <http://www.enviros.cz/palivove_clanky/2_typy_palivovych_clanku.html>.
- [9] Fuel Cells and Hydrogen Technology [online]. [1999] [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <http://www.heliocentris.com/en/no_cache/homepage.html>.
- [10] FuelCell Energy [online]. c2009 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <http://www.fuelcellenergy.com/dfc300ma.php>.
- [11] FuelCellstore [online]. c2007 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <http://www.fuelcellstore.com/index.asp>.
- [12] H-Tec [online]. c2008 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <http://www.h-tec.com/html/web/education/english/index.asp?id=0>.
- [13] J.L.M.: První autobus na vodíkové palivové články míří do finíše. [online]. c2001-2009 , 9.2.2009 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <http://www.csad.cz/modules.php?name=article&sid=5876>.
- [14] PORŠ, Zdeněk. Co je to palivový článek [online]. c2001-2009 [cit. 2009-03-24]. Dostupný z WWW: <http://www.tretipol.cz/index.asp?clanek&view&181>.
- [15] KOTEK, Luboš. Výroba vodíku - přehled metod [online]. c2005 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <http://vodik.czweb.org/view.php?cisloclanku=2005120501>.
- [16] HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. Fyzika. [s.l.] : [s.n.], 2006. 5 sv. (320, 253, 309, 146, 165 s.).
- [17] KŮŽEL, Filip. *Mobil Mania* [online]. 18.11.2009 [cit. 2010-05-25]. Toshiba Dynario:palivový článek v prodeji. Dostupné z WWW: <http://www.mobilmania.cz/clanky/toshiba-dynario-palivovy-clanek-v-prodeji/sc-3-a-1123827/default.aspx>.
- [18] NOVÁK, Pavel. *H2Bus* [online]. 11.11.2009 [cit. 2010-05-24]. 11/11/2009 Tisková zpráva: První vodíková stanice v ČR otevřena v areálu Veolia Transport v rámci projektu provozu vodíkového autobusu TriHybus. Dostupné z WWW: <http://www.trihybus.cz/novinky/tz-prvni-vodikova_cerpaci_stanice_v_cr_otevrena_v_arealu_veolia_transport>.